

电
工
技
术
培
训
读
本



电气控制与可编程控制器

冯 薇 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

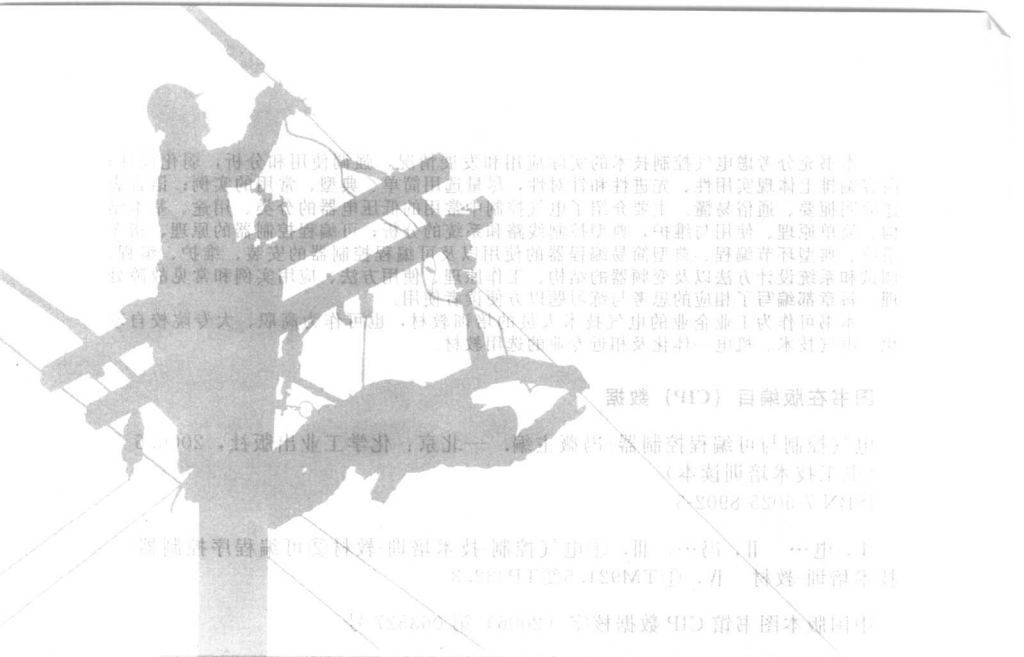


图 2-1-1 高压输电线路检修作业示意图

1. 作业人员应经专门培训，持证上岗。

2. 作业人员应穿戴合格的安全防护用品。

3. 作业人员应严格遵守《电业安全工作规程》。

4. 作业人员应定期进行体检，合格后方可上岗。

5. 作业人员应定期进行安全培训，提高安全意识。

6. 作业人员应定期进行技能考核，合格后方可上岗。

7. 作业人员应定期进行应急演练，提高应急处置能力。

8. 作业人员应定期进行安全评估，及时发现和整改安全隐患。

9. 作业人员应定期进行安全总结，提高安全管理水平。

10. 作业人员应定期进行安全宣传，提高全社会的安全意识。

电 工 技 术 培 训 读 本

电气控制与可编程控制器

冯 薇 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

地址：北京市东城区东黄城根北街2号

本书充分考虑电气控制技术的实际应用和发展情况, 强调使用和分析, 弱化设计; 内容编排上体现实用性、先进性和针对性, 尽量选用简单、典型、常用的实例; 语言表述简明扼要、通俗易懂。主要介绍了电气控制中常用的低压电器的分类、用途、基本结构、简单原理、使用与维护, 典型控制线路和系统的分析; 可编程控制器的原理、指令系统、典型环节编程、典型简易编程器的使用以及可编程控制器的安装、维护、编程、调试和系统设计方法以及变频器的结构、工作原理、使用方法、应用实例和常见故障处理。每章都编写了相应的思考与练习题以方便读者使用。

本书可作为工业企业的电气技术人员的培训教材, 也可作为高职、大专院校自动化、电气技术、机电一体化及相近专业的选用教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与可编程控制器/冯薇主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 6

(电工技术培训读本)

ISBN 7-5025-8902-3

I. 电… II. 冯… III. ①电气控制-技术培训-教材②可编程序控制器-技术培训-教材 IV. ①TM921.5②TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 063527 号

电工技术培训读本 电气控制与可编程控制器

冯 薇 主 编

责任编辑: 赵丽霞 刘 哲

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11¼ 插页 1 字数 303 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8902-3

定 价: 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着科学技术的发展,电气化程度正在日益提高,电气工作人员的综合素质,直接影响到电气设备的安装、维护和检修质量,关系到工厂企事业单位的正常运行和经济效益。应广大电气工作人员的要求,化学工业出版社组织南京化工职业技术学院、中国石化集团公司南京化学工业有限公司、南京工程学院、南京化工技工学校、江苏海事职业技术学院、中国石化集团公司扬子石化公司培训中心等单位编写了《电工技术培训读本》丛书,包括《电路与电工测量》、《实用电子技术基础》、《电机应用技术》、《电气控制与可编程控制器》、《工厂供配电技术》、《电工材料》、《继电保护与综合自动化系统》、《电气运行与管理技术》、《工厂电气试验》。

为保证本套丛书的质量,成立了电工技术培训读本编写委员会,编写人员均为生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家、高级技师或具有多年丰富的教育培训教学经验的教师。根据劳动和社会保障部颁发的《职业技能鉴定规范》中电工的“知识要求”,结合工厂企业的生产特点,借鉴当前电工的实际工作经验,为电工的职业教育、职业培训和电工的职业技能鉴定,提供一套具有充实内容的教材和参考书。

全套培训读本在编写过程中,着眼于工厂现状,以目前使用较普遍的和以后预计使用量会增加的电气设备为主,适当地考虑到今后发展和提高的要求,本着突出针对性、典型性、实用性的原则,并注意工人培训的特点,内容精练、实用,注重理论联系实际,学以致用,且有一定的理论深度。每章有学习目标,提出具体的要求,章后有思考练习题,贯彻以培训为主的原则。本套读本通俗易懂,好学好用。不仅适用于具有初中以上文化程度、没有经过系统专业培训的从事电力系统运行与维护的人员,而且对于从事现场电

气专业设计、安装、运行、维修的电工、工程技术人员，也具有一定的参考价值。

本书为《电工技术培训读本》之一，主要分为电气控制技术和可编程控制器技术两部分。第一部分的三章，介绍了电气控制中常用的低压电器的分类、用途、基本结构、简单原理、使用与维护，电气原理图、安装图的读图方法，典型控制线路和系统的分析；第二部分的三章，以工业生产中常用的日本三菱公司 FX_{2N} 系列可编程控制器为对象，介绍了可编程控制器的原理、指令系统、典型环节编程、典型简易编程器的使用以及可编程控制器的安装、维护、编程、调试和系统设计方法。另外，由于变频器使用日益广泛，所以本书专门列出一章（第4章）进行介绍，包括变频器的结构、工作原理、使用方法、应用实例和常见故障处理。

本书由冯薇主编，并编写了第6章、第7章，李剑编写了第1章、第2章的1.1、1.2两节和第5章，薛靖编写了第2章的1.3节、第3章和第4章。全书由冯薇统稿。

本书在编写过程中，由于时间仓促，缺乏经验，不足之处在所难免。恳切希望各使用单位和个人提出宝贵意见和建议。

编 者

2006年4月

目 录

第 1 章 常用低压电器	1
1.1 概述	1
1.1.1 常用低压电器的定义和分类	1
1.1.2 电磁式低压电器的基本结构和工作原理	1
1.2 常用电磁式低压电器	6
1.2.1 电磁式接触器	6
1.2.2 电磁式继电器	11
1.3 其他常用低压电器	19
1.3.1 热继电器	19
1.3.2 信号继电器	23
1.3.3 主令电器	29
1.3.4 开关电器	34
1.3.5 熔断器	35
1.3.6 漏电保护自动开关	39
1.4 电子电器	42
1.4.1 电子电器的特点及组成	42
1.4.2 几种常用电子电器	45
思考与练习	50
第 2 章 电气控制的基础知识	51
2.1 电气控制系统电路图识图	51
2.1.1 电气控制线路图和符号	51
2.1.2 电气控制线路图的阅读方法	62
2.2 电气控制的基本环节和基本规律	67
2.2.1 电路保护环节	67
2.2.2 点动及连续运转	69

2.2.3	多地点控制	70
2.2.4	正反转联锁控制线路	71
2.2.5	自动循环控制线路	72
2.2.6	顺序控制	73
2.3	三相异步电动机的简单控制电路	74
2.3.1	三相异步电动机降压启动控制电路	75
2.3.2	三相异步电动机制动控制电路	78
2.3.3	三相异步电动机速度控制电路	85
	思考与练习	91
第3章	电气控制实例	92
3.1	电气控制电路分析基础	92
3.1.1	电气控制分析的内容	92
3.1.2	电气原理图的阅读分析方法	93
3.2	常用机械设备的电气控制线路分析	94
3.2.1	车床电气控制线路	94
3.2.2	钻床电气控制线路	97
3.2.3	万能铣床电气控制线路	104
3.2.4	桥式起重机控制线路	112
	思考与练习	121
第4章	变频器及其应用	123
4.1	变频器概述	123
4.1.1	变频器应用范围及分类	123
4.1.2	变频器的结构及工作原理	128
4.1.3	SPWM 控制技术	135
4.2	变频器的控制	140
4.2.1	U/f 控制	140
4.2.2	转差频率控制	142
4.2.3	矢量控制方式	143
4.3	变频器的使用	150
4.3.1	通用变频器的铭牌、面板	150

4.3.2 通用变频器标准接线	159
4.3.3 变频器与 PLC 的连接	166
4.3.4 变频器的其他功能	172
4.3.5 变频器在生产中的应用	177
思考与练习	183
第 5 章 可编程控制器及其应用	184
5.1 可编程控制器的基础知识	184
5.1.1 可编程控制器的产生及定义	184
5.1.2 PLC 的分类	185
5.1.3 PLC 的特点	187
5.1.4 PLC 的应用领域	189
5.1.5 PLC 的组成及各部分的功能	191
5.2 可编程控制器的基本原理	195
5.2.1 PLC 的基本工作原理	195
5.2.2 PLC 的性能指标	199
5.2.3 PLC 的编程语言	200
5.2.4 PLC 的通信及网络	202
5.3 可编程控制器的安装与维护	207
5.3.1 PLC 的安装	207
5.3.2 PLC 的日常维护	214
5.3.3 PLC 的故障检修	215
思考与练习	220
第 6 章 三菱 FX_{2N} 系列可编程控制器	221
6.1 FX _{2N} 系列 PLC 概况	221
6.1.1 FX _{2N} 系列 PLC 的结构特点	221
6.1.2 FX _{2N} 系列 PLC 的型号及种类	224
6.1.3 FX _{2N} 系列 PLC 的基本性能和技术指标	226
6.2 FX _{2N} 系列 PLC 的编程元件	230
6.2.1 编程元件的分类、编号和基本特征	231
6.2.2 数据类编程元件的数据结构	231

6.2.3 编程元件的功能	234
6.3 FX _{2N} 系列 PLC 的指令系统	244
6.3.1 基本指令	244
6.3.2 步进指令	256
6.3.3 应用指令	262
6.4 常用基本环节的编程举例	264
6.4.1 梯形图、指令表的编程规则	264
6.4.2 常用基本环节的编程	266
6.5 FX _{2N} 系列 PLC 的编程与调试	270
6.5.1 FX-20P-E 简易编程器的使用	270
6.5.2 SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件的使用	282
思考与练习	290
第7章 可编程控制器的应用	293
7.1 PLC 系统设计的基本内容和方法	293
7.1.1 系统设计的原则和内容	293
7.1.2 程序调试方法	297
7.1.3 系统设计的方法	298
7.2 PLC 在工业生产中的典型应用	299
7.2.1 PLC 在开关量逻辑控制系统中的简单应用	300
7.2.2 摇臂钻床的 PLC 控制——继电器电路移植法	303
7.2.3 机械手的 PLC 顺序控制——步进指令法	305
7.2.4 电镀生产线的 PLC 顺序控制——移位寄存器法	308
7.2.5 变频器的 PLC 控制	314
思考与练习	317
附录1 逻辑代数的基本运算法则	319
附录2 FX_{1N}系列 PLC 特殊元件编号及名称	320
附录3 FX_{2N}系列 PLC 应用指令一览表	335
参考文献	348

第 1 章 常用低压电器

学习目标

1. 掌握电磁式低压电器的基本结构和工作原理。
2. 熟悉常用的低压电器的结构和工作原理。
3. 熟悉常用电子电器的原理。

1.1 概 述

低压电器是电气控制系统的基本组成元件，其性能的优劣直接影响着系统的可靠性、先进性和经济性，是电气控制技术的基础。

当前，低压电器继续沿着体积小、重量轻、安全可靠、使用方便的方向发展，主要途径是利用微电子技术提高传统电器的性能；在产品品种方面，大力发展电子化的新型控制电器，如接近开关、光电开关、电子式时间继电器、固态继电器与接触器等，以适应控制系统迅速电子化的需要。

1.1.1 常用低压电器的定义和分类

低压电器指工作在交流电压小于 1200V、直流电压小于 1500V 的电路中起通、断、保护、控制或调节作用的电器。常用低压电器的分类如图 1-1 所示。

1.1.2 电磁式低压电器的基本结构和工作原理

各种类型的电磁式电器主要由电磁机构和执行机构所组成，电磁机构按其电源种类可分为交流和直流两种，执行机构则可分为触点和灭弧装置两部分。

1.1.2.1 电磁机构

电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁组成，其结构形式按衔铁的运动方式可分为直动式和拍合式，如图 1-2 和图 1-3 所示。在图 1-3 中，拍合式又分为衔铁沿棱角转动和衔铁沿轴转动两种。

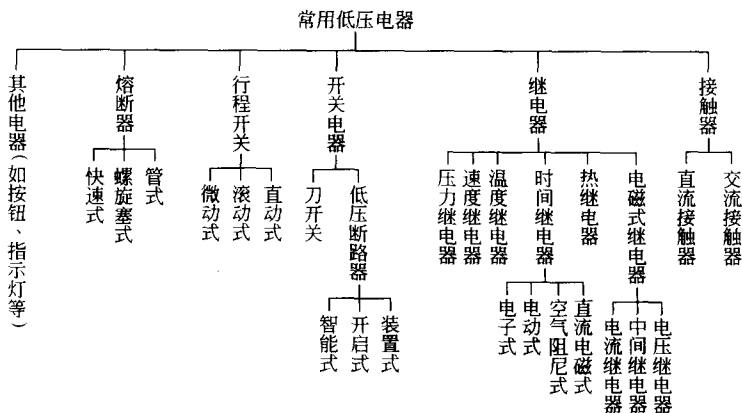


图 1-1 常用低压电器的分类

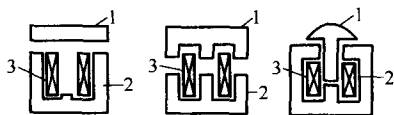


图 1-2 直动式电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

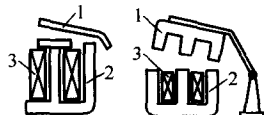


图 1-3 拍合式电磁机构

1—衔铁；2—铁芯；3—吸引线圈

吸引线圈的作用是将电能转换为磁能，衔铁在电磁吸力作用下产生机械位移使铁芯吸合。通入直流电的线圈称直流线圈，通入交流电的线圈称交流线圈。对于直流线圈，铁芯不发热，只有线圈发热，因此线圈与铁芯接触以利于散热。线圈做成无骨架、高而薄的瘦高形，以改善线圈自身散热。铁芯和衔铁由软钢或工程纯铁制成。对于交流线圈，除线圈发热外，由于铁芯中有涡流和磁滞损耗，铁芯也要发热。为了改善线圈和铁芯的散热情况，在铁芯与线圈之间留有散热间隙，而且把线圈做成有骨架的矮胖形。铁芯用硅钢片叠成，以减少涡流。

另外，根据线圈在电路中的联系方式，可分为串联线圈（即电流线圈）和并联线圈（即电压线圈）。串联（电流）线圈串接在线路中，流过的电流大，为减少对电路的影响，线圈的导线粗，匝数少，线圈的阻抗较小。并联（电压）线圈并联在线路上，为减少分

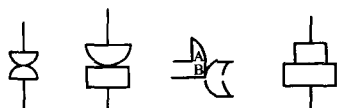


流作用,降低对原电路的影响,需要较大的阻抗,因此线圈的导线细且匝数多。

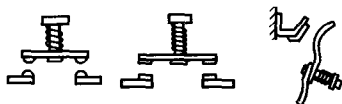
1.1.2.2 电接触及灭弧工作原理

(1) 电接触 触点是电磁式电器的执行部分,电器就是通过触点的动作来接通或断开被控制电路的,所以要求触点导电导热性能要好。电接触状态就是触点闭合并有工作电流通过时的状态,这时触点的接触电阻大小将影响其工作情况。接触电阻大时触点易发热,温度升高,从而使触点易产生熔焊现象,这样既影响工作的可靠性,又降低了触点的寿命。触点接触电阻的大小主要与触点的接触形式、接触压力、触点材料及触点的表面状况有关。

① 触点的接触形式 触点的接触形式有点接触、线接触和面接触三种,如图 1-4 所示。



(a) 点接触 (b) 线接触 (c) 面接触



(a) 桥式触头 (b) 指形触头

图 1-4 触点的接触形式

图 1-5 触点的结构形式

点接触适用于电流不大,触点压力小的场合;线接触适用于电次数多,电流大的场合;面接触适用于大电流的场合。

② 触点的结构形式 触点主要有以下几种结构形式。

a. 桥式触点。图 1-5(a) 所示为桥式常开(或动合)触点的结构。电磁式电器通常同时具有常开(或动合)和常闭(或动断)两种触点,桥式常闭触点与常开触点结构及动作对称,一般在常开触点闭合时,常闭触点断开。图中定触点的两个触点串于同一条电路中,当衔铁被吸向铁芯时,与衔铁相连在一起的动触点也随着移动,当与定触点接触时,便使同定触点相连的电路接通。电路的接通与断开由两个触点共同完成,触点的接触形式一般是点接触和面接触。

b. 指形触点。如图 1-5(b) 所示,触点接通或分断时产生滚动摩擦,能去掉触点表面的氧化膜。触点的接触形式一般是线接触。

③ 减少接触电阻的方法

a. 增加触点的接触面积，从而减小接触电阻。一般在动触点上安装一个触点弹簧。

b. 选择电阻系数小的材料，材料的电阻系数越小，接触电阻也越小。在金属中，银的电阻率最小，但价格高，实际中常在铜基触点上镀银或嵌银，以减少接触电阻。

c. 改善触点的表面状况，尽量避免或减少触点表面氧化物形成；注意保持触点表面清洁，避免聚集尘埃。

(2) 灭弧的工作原理 触点在通电状态下动、静触点脱离接触时，由于电场的存在，使触点表面的自由电子大量溢出而产生电弧。电弧的存在既烧损触点金属表面，降低电器的寿命，又延长了电路的分断时间，所以必须迅速消除。

① 常用的灭弧方法

a. 迅速增大电弧长度。电弧长度增加，使触点间隙增加，电场强度降低，同时又使散热面积增大，降低电弧温度，使自由电子和空穴复合的运动加强，因而电弧容易熄灭。

b. 冷却。使电弧与冷却介质接触，带走电弧热量，也可使复合运动得以加强，从而使电弧熄灭。

② 常用的灭弧装置

a. 电动力灭弧。电动力灭弧如图 1-6 所示，不用任何附加装置。桥式触点在分断时本身就具有电动力灭弧功能，当触点打开时，在断口中产生电弧，同时也产生如图所示的磁场，根据左手定则，电弧电流要受到一个指向外侧的力 F 的作用，使其迅速离开触点而熄灭。这种灭弧方法多用于小容量交流接触器中。

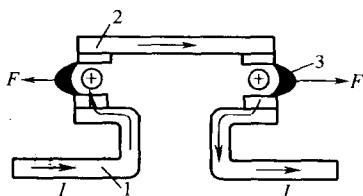


图 1-6 双断口结构的电动力灭弧效应

1—静触点；2—动触点；3—电弧

b. 磁吹灭弧装置。装置如图 1-7 所示，在触点电路中串入吹弧线圈，该线圈产生的磁场由导磁夹板引向触点周围，其方向由右

手定则确定(为图中“×”所示),触点间的电弧所产生的磁场,其方向为“⊕”、“⊙”所示。这两个磁场在电弧下方方向相同(叠加),在弧柱上方方向相反(相减),所以弧柱下方的磁场强于上方的磁场。在下方磁场作用下,电弧受力的方向为 F 所指的方向,在 F 的作用下,电弧被吹离触点,经引弧角引进灭弧罩,使电弧熄灭。

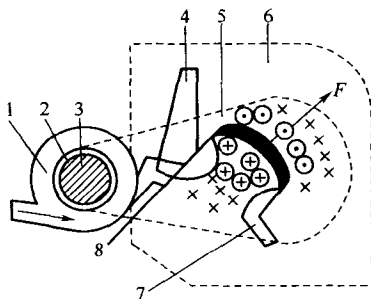


图 1-7 磁吹灭弧示意

- 1—磁吹线圈；2—绝缘线圈；3—铁芯；
4—引弧角；5—导磁夹板；6—灭弧罩；
7—动触点；8—静触点

c. 栅片灭弧装置。装置如

图 1-8 所示称为灭弧栅的,是一组彼此间相互绝缘、镀铜的薄钢片。当电弧进入栅片时,被分割成一段段串联的短弧,而栅片就是这些短弧的电极,这样就使每段短弧上的电压达不到燃弧电压。同时,每两片灭弧片之间都有 150~250V 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强,以致外加电压无法维持,电弧迅速熄灭。此外,栅片还能吸收电弧热量,使电弧迅速冷却。基于上述原因,电弧进入栅片后就会很快熄灭。由于栅片灭弧装置的灭弧效果在电流为交流时比直流时强得多,因此在交流电器中常采用灭弧栅。

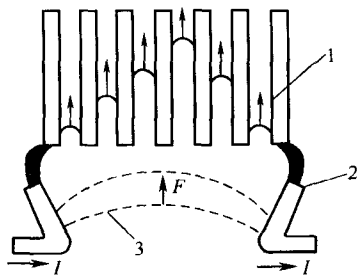


图 1-8 栅片灭弧示意

- 1—灭弧栅片；2—触点；3—电弧

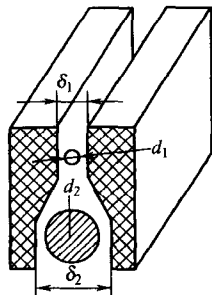


图 1-9 窄缝灭弧罩的断面



d. 窄缝灭弧装置。装置如图 1-9 所示,称为灭弧罩。灭弧罩内有一个或数个纵向窄缝,缝的下部宽上部窄,当触点断开时,电弧在电动力的作用下进入缝内,窄缝可将电弧柱分成若干直径较小的电弧,同时可将电弧直径压缩,使电弧同缝紧密接触,加强冷却和去游离作用,使电弧熄灭加快。灭弧罩通常用耐弧陶土、石棉水泥或耐弧塑料制成。

1.2 常用电磁式低压电器

1.2.1 电磁式接触器

电磁式接触器是用来接通和分断负荷电流的电磁式电器,主要用于控制电动机、电焊机、电容器组等设备,具有低压释放的保护功能,适用于频繁操作和远距离控制,是电力拖动自动控制系统中使用最广泛的电器元件之一。

接触器按其分断电流的种类可分为直流接触器和交流接触器;按其主触点的极数可分为单极、双极、三极、四极、五极几种,单极、双极多为直流接触器。

1.2.1.1 接触器的结构及工作原理

(1) 交流接触器的结构

交流接触器的结构如图1-10所示,它主要由四大部分组成:电磁机构、触点系统、灭弧装置和其他辅助部件。

① 电磁机构 电磁机构由线圈、铁芯和衔铁组成,用于产生电磁吸力,带动触点动作。

② 触点系统 触点分为主触点及辅助触点。主触点用于接通或断开主电路或大电流电路;辅助触点用于控制电路,起控制其他元件接通或分断及电气联锁作用。主触点一般容量较大,辅助触点容量较小。辅助触点结构上通常是常开和常闭成对的,当线圈得电后,衔铁在电磁吸力的作用下吸向铁芯,同时带动触点移动,使其与常闭触点的定触点分开,与敞开动触点的定触点接触,实现常闭出头断开,敞开触点闭合。辅助触点一般不能用来分断主电路。



③ 灭弧装置 容量较大的接触器都有灭弧装置。对于小容量的接触器,常采用电动力吹弧、灭弧罩等;对于大容量的接触器,采用灭弧罩及栅片座等。

④ 其他辅助部件 包括反力弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构、支架及底座等。

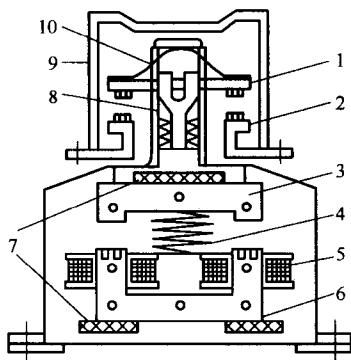


图 1-10 CJ20 系列交流接触器结构示意图

1—动触点; 2—静触点; 3—衔铁; 4—弹簧;
5—线圈; 6—铁芯; 7—垫毡; 8—触点弹簧;
9—灭弧罩; 10—触点压力弹簧

(2) 交流接触器的工作原理

当线圈通电后,线圈电流产生磁场,使铁芯产生电磁吸力将衔铁吸合。与衔铁固连在一起的动触点动作,使常开触点闭合,常开触点断开,进而完成电路的分断。当线圈断电或电压较低时,电磁吸力消失或减弱,衔铁在反力弹簧的作用下释放,触点复位,实现低压释放的保护功能。

直流接触器的结构和工作原理基本上与交流接触器相同。

1.2.1.2 接触器的主要技术参数及型号含义

(1) 技术参数

① 额定电压 接触器铭牌上标注的额定电压是指主触点的额定电压。常用的额定电压等级如表 1-1 所示。

② 额定电流 接触器铭牌上标注的额定电流是指主触点的额定电流。常用的额定电流等级如表 1-1 所示。表中的电流值是接触器安装在敞开式控制屏上,触点工作不超过额定温升,负荷为间断-长期工作制时的电流值。

表 1-1 接触器额定电压和额定电流的等级

项 目	直流接触器	交流接触器
额定电压/V	110,220,440,660	127,220,380,500,660
额定电流/A	5,10,20,40,60,100, 150,250,400,600	5,10,20,40,60,100, 150,250,400,600

③ 线圈的额定电压 常用的额定电压等级如表 1-2 所示。选用时，一般交流负载用交流接触器，直流负载用直流接触器，但交流负载在频繁动作时可采用直流线圈的交流接触器。

表 1-2 交流接触器线圈的额定电压等级

直流线圈额定电压/V	交流线圈额定电压/V
24,48,110,220,440	36,110,127,220,380

④ 额定操作频率 指每小时的操作次数。交流接触器最高为 600 次/h，而直流接触器最高为 1200 次/h。操作频率直接影响到接触器的电寿命和灭弧罩的工作条件，对于交流接触器，还会影响到线圈的温升。

⑤ 接通和分断能力 指主触点在规定条件下能可靠地接通和分断的电流值。在此电流值下，接通时主触点不应发生熔焊；分断时主触点不应发生长时间燃弧。电路中超出此电流值的分断任务则有熔断器、自动开关等保护电器承担。

在电力拖动控制系统中，接触器常见的使用类别及其典型用途如表 1-3 所示。

表 1-3 接触器使用类别及其典型用途

电流种类	使用类别	典 型 用 途
AC (交流)	AC1	无感或微感负载、电阻炉
	AC2	线绕式电动机的启动和中断
	AC3	笼式电动机的启动和中断
	AC4	笼式电动机的启动、反接制动、反向和点动
DC (直流)	DC1	无感或微感负载、电阻炉
	DC3	并励电动机的启动、反接制动、反向和点动
	DC5	串励电动机的启动、反接制动、反向和点动

接触器的使用类别代号通常标注在产品的铭牌或工作手册中。表 1-3 中要求接触器主触点达到的接通和分断能力为：AC1 和 DC1 类允许接通和分断额定电流；AC2、DC3 和 DC5 类允许接通和分